Ueber eine neue Metall-Porzellan-Röntgenröhre und ihre Verwendung zum Nachweis der Strukturänderungen von warm- und kaltbearbeiteten Materialien.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer

Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Werner Eggers
aus Oschersleben/Bode.

Halle (Saale) 1927.
Buchdruckerei Heinrich John, Halle (Saale).

Referent: Prof. Dr. K. E. F. Schmidt.
Korreferent: Prof. Dr. G. Hertz.

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Juni 1926.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern!

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Allgemeines 7

II. Apparatur 8

1. Beschreibung der Apparatur 8
   a) Das elektrische Schaltbild 8
   b) Die Hochvakuum-Anlage 9
   c) Die Aufnahmeordnung 10
   d) Eine Glasröntgenröhre 11
   e) Eine neue Metall-Porzellan-Röntgenröhre . . . 12
   f) Eine neue Porzellan-Röntgenröhre 14
2. Wirkungsweise der Apparatur 16

III. Untersuchte Strukturänderungen 18

1. Literaturbesprechung 18
2. Strahlungsart 22
3. Material 22
4. Bearbeitung des Materials 24
5. Diskussion der erhaltenen Strukturbilder 24

IV. Zusammenfassung 28

V. Literaturverzeichnis 29

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544302_0332

I. Allgemeines.

In den Jahren 1916/17 waren Strukturuntersuchungen an Metallen von Herrn Prof. Dr. Schmidt ausgeführt worden. Aus dieser Zeit datieren auch die Veröffentlichungen in der physikalischen Zeitschrift. Da die Röntgenanlage damals mit einer Umformermaschine betrieben werden mußte und die Technik derartiger Röntgenaufnahmen wenig entwickelt war, war der Betrieb so zeitraubend und teuer, daß weitere Untersuchungen unterlassen werden mußten. Erst die Vervollkommnung der Röntgeneinrichtung und die Durchführung des 220 ∼ V. Stadtnetzanschlusses im Laboratorium nach 1916/17 gestatteten es, weiteren röntgenographischen Untersuchungen näher zu treten.

Um dem augenblicklichen Stande der Aufnahmetechnik von Röntgendiagrammen Rechnung zu tragen, wurde die vorhandene Röntgenanlage umgebaut und eine Metall-Porzellan-Röntgenröhre konstruiert, die die im folgenden beschriebene Apparatur zu einer vollständigen, den Anforderungen in jeder Weise gerecht werdenden Anlage gestaltete. In der vorliegenden Arbeit werden sodann Angaben gemacht über eine neue Porzellan-Röntgenröhre, deren Entwurf die Erfahrungen mit der Metall-Porzellan-Röntgenröhre rechtfertigen. Ferner werden Strukturänderungen an Kupfer, Aluminium und drei Magnesiumlegierungen durch Warm- und Kaltbearbeitung an der Hand von Röntgenfaserdiagrammen nachgewiesen.

II. Apparatur.

1. Beschreibung der Apparatur.

a) Das elektrische Schaltbild.

Die Glühkathodenröhren-Röntgeneinrichtung für 90/220/300 V und 50 Per. wurde von Siemens & Halske, Berlin, Siemensstadt-Wernerwerk geliefert. Wie Taf. I und II zeigen, besteht sie aus drei Kreisen, die unabhängig von einander reguliert werden können: 1. dem Primärkreis und dem davon abhängigen Sekundärkreis des Hochspannungstransformators; 2. dem Heizstromkreis der Glühkathode der Röntgenröhre und 3. dem Heizstromkreis der Glühkathode der Ventilröhre.

In dem Primärkreis des Hochspannungstransformators befindet sich neben Sicherungen und Signallampen, die eine Kontrolle über den normalen Betrieb der Röntgeneinrichtung gestatten, ein Zwischentransformator (Tafel II), der zur Regulierung der Primärspannung am Hochspannungstransformator dient.

Der Sekundärkreis des Hochspannungstransformators, dessen Uebersetzungsverhältnis 1:500 gewählt wurde, besteht aus einem Milli-Amperemeter, der weiter unten beschriebenen Metall-Porzellan-Röntgenröhre und einer Gleichrichterröhre. Beide Röhren liegen im Stromkreis so hintereinander geschaltet, daß die Reihenfolge Glüh — Anti — Glüh — Anti-Kathode gewahrt ist.

Der Heizstromkreis der Glühkathode der Röntgenröhre wird vom Schalttisch (Tafel II) durch einen Kurbelwiderstand reguliert. Um die an den Klemmen der Glühkathode nötige Spannung (2 V.) zu bekommen und gleichzeitig die Unabhängigkeit des Heizstromkreises vom Hochspannungskreise zu garantieren, wird der Heizstromkreis über entsprechende Trans-

formatoren geleitet, die in Tafel I mit Spar-, Ring- und Heiztransformator bezeichnet sind. Es empfiehlt sich, den Primärkreis des Heiztransformators zur Vermeidung kapazitiver Aufladungen über einen Silitwiderstand zu erden.

Der Heizstromkreis der Glühkathoden-Gleichrichterröhre ist nach demselben Prinzip aufgebaut, wie Tafel I zeigt. Ein Zwischentransformator (Spartransformator), dessen Primärseite direkt am Stadtnetz liegt, bildet mit seiner Sekundärseite, einem Regulierwiderstand und der Primärwicklung des eigentlichen Heiztransformators (Tafel I) einen geschlossenen Stromkreis. An der Sekundärwicklung des Heiztransformators, der die Hochspannungsseite gegen die Niederspannungsseite abschirmt und somit eine gefahrlose Regulierung der Heizstromstärke gestattet, liegt der Glühfaden der Ventilröhre.

Außer dem schon angeführten Milli-Amperemeter im Hochspannungskreis, liegt im Primärstromkreis des Hochspannungstransformators ein Amperemeter und an dessen Primärklemmen ein Voltmeter. Es lassen sich somit die während einer röntgenographischen Aufnahme notwendigen Milli-Ampere-Minuten (M. A. M.) und die aufgewandte Leistung berechnen.

b) Die Hochvakuumanlage.

Tafel III zeigt eine schematische Darstellung der Hochvakuumanlage für die Röntgenröhreneinrichtung, wie sie sich als zweckmäßig erwiesen hat. Sie besteht aus einer Vor- und Hochvakuumpumpe, zwei Vorratsgefäßen, einem Trocken- und einem Dewargefäß, zwei Dreiweghähnen und der Metall-Porzellan-Röntgenröhre. Die Arbeitsweise ist folgende: Man bringt die Dreiweghähne 1 und 2 in eine solche Stellung, daß die arbeitende Vorpumpe, die wegen der verwendeten dreistufigen Gaedeschen Quecksilber-Dampfstrahl-Stahlpumpe eine Wasserstrahlpumpe sein kann, die ganze Anlage auf Vorvakuum auspumpt; dann wird die Hochvakuumpumpe in Betrieb gesetzt, deren Vorvakuumleitung zunächst noch direkt nach der Pumpe führt. Hat man die Hochvakuumpumpe, deren Anlaufszeit ungefähr 15—20 Minuten beträgt, einige Zeit unter gleichzeitiger Ausfrierung der Gase in der Gasfalle wirken

lassen, dann dreht man die Hähne derart, daß das Vorratsgefäß 1 nunmehr als Vorvakuum dient und die Vorpumpe abgestellt werden kann. Es hat sich erwiesen, daß durch diese Anordnung der oft Stunden dauernde Betrieb rentabler ist und das erforderliche Hochvakuum früher erreicht wird, da ja auch durch diese Handhabung das Vorvakuum erhöht wird.

In Bezug auf die Vorratsgefäße 1 und 2 ist noch zu erwähnen, daß ihre Volumina im Verhältnis zum Widerstand der Leitung so dimensioniert sind, daß die Sauggeschwindigkeit der Hochvakuumpumpe nicht beeinträchtigt wird. Je größer das Volumen der Vorratsgefäße ist, umso weniger schädlich sind die Gaseinbrüche während des elektrischen Betriebes. Auf Grund dieser Wirkungsweise dieser Hochvakuumanlage ist es möglich, innerhalb einer halben Stunde die Apparatur aufnahmefertig zu machen.

c) Die Aufnahmeordnung.

Die für die Herstellung von Röntgendiagrammen benutzte Aufnahmeapparatur (Tafel V Fig. 2) besteht im wesentlichen aus drei Teilen, die mit Hilfe von Schlitten auf einer Laufschiene gegeneinander verschoben werden können: 1. Zur Aufnahme des 15 mm langen, 10 mm dicken Bleirohres, das eine Blendenöffnung von 0,5 mm Durchmesser, also 0,84 mm^2 Querschnittsfläche hat, dient ein Messingrohr, das in der Horizontalen drehbar und in der Vertikalen verschiebbar ist; 2. der mittlere Schlitten führt den Objekthalter, der aus zwei zu einander senkrecht stehenden Kreisteilungen und einem Drehtischchen besteht. Bezeichnet man die Richtung der Röntgenstrahlen mit X, die der Vertikalen mit Z und die zu beiden Senkrechten mit Y, so steht die eine Kreisteilung parallel zur X-Z-Ebene fest, während die andere um ihre Achse, also um die Y-Richtung, drehbar ist. Auf dieser drehbaren Kreisteilung ist in ihrer Ebene ein Drehtischchen angebracht, das in der Mitte ein Loch für den Durchgang der Röntgenstrahlen aufweist und in dieser Ebene um jeden beliebigen Winkel gedreht werden kann. Zwei Federn auf dem Drehtischchen gestatten ein Festklemmen des zu untersuchenden Materials.

Mit Hilfe dieser Anordnung kann jeder beliebige Winkel zur Richtung der Röntgenstrahlen eingestellt werden. Die Kreisteilungen gestatten eine Ablesung des Drehwinkels um 1^0 und eine Abschätzung um 30 Minuten.

Befestigt man nun das Material auf dem Drehtischchen so, daß seine Walzrichtung W und die zu dieser senkrechte Querrichtung mit der Z- und Y-Richtung zunächst zusammenfallen, so kann man das Material unter beliebigen Winkeln zur Walzrichtung φ_W und zur Querrichtung φ_Q durchleuchten, indem man die an den Kreisteilungen ablesbaren Winkel α, β geeignet einstellt. α ist dabei der Winkel, den die Walzrichtung mit der Y-Richtung bildet, während β angibt, um wieviel Grad die Ebene des Materiales gegen die Y-Z-Ebene gedreht worden ist. Die Winkel φ_W, φ_Q, α und β stehen dann in folgenden Beziehungen:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\cos \varphi_W}{\cos \varphi_Q} \text{ [1]}$$

$$\cos \beta = \sqrt{\cos^2 \varphi_W + \cos^2 \varphi_Q}$$

3. Der dritte Schlitten, der die photographische Platte trägt, ermöglicht eine verschiedene Einstellung der Entfernung der photographischen Platte vom Aufnahmeprojekt.

d) Eine Glasröntgenröhre.

Da die vorhandene Glas-Coolidge-Röhre den an sie gestellten Anforderungen nicht entsprochen haben würde, mußte eine Röntgenröhre konstruiert werden, die für lange Belichtungszeiten und hohe elektrische Belastung dimensioniert wurde. Bei dem Entwurf diente die Glas-Coolidge-Röhre als Vorbild. Diese Röhre, bei der nur die spannungführenden Teile aus Metall bestanden, war aus bestem Gehlberger Röntgenröhrenglas hergestellt worden. Die Glaskugel hatte einen Radius von 7,5 cm. Es standen sich rechtwinklig diametral gegenüber einerseits die Schliffe für die Einführung der Glühkathode und für den Anschluß an die Hochvakuumleitung und

[1]) Mark u. Weißenberg, Zeitschr. f. Phys. 14, 1923, S. 329.

andererseits die Schliffe für die Anbringung der Antikathode und des Aluminiumfensters. Schon bei der Anfertigung des Glaskörpers machten sich erhebliche Schwierigkeiten bemerkbar. Die Zentrierung der Glühkathode, Antikathode und des Al.-Fensters gelang in keinem Falle einwandfrei. Für die Schliffe waren Normaldimensionen vorgesehen, so daß die einmal angefertigten Kathoden immer wieder Verwendung finden konnten. Mehrere Exemplare gaben mechanischen Drucken nach und versagten von vornherein den Dienst. Zwei weitere wurden von der Hochspannung durchschlagen. Wir nahmen, von der Unbrauchbarkeit dieser Art Röntgenröhren überzeugt, von einer weiteren Verwendung Abstand.

e) Eine neue Metall-Porzellan-Röntgenröhre.

Bei dem Entwurf der eben beschriebenen Glasröntgenröhre hatten wir uns von dem Gedanken leiten lassen, eine Röntgenröhre zu konstruieren, die für einen möglichst großen Spannungsbereich verwendbar sein sollte. Dieser Gedanke war auch für die Konstruktion der im folgenden beschriebenen Metall-Porzellan-Röntgenröhre maßgebend. Die oben geschilderten Erfahrungen zwangen uns, Röhrenkörper aus mechanisch und elektrisch festen Stoffen anzufertigen. Wir verwendeten daher Kupfer und Porzellan.

Bei den bekannten Metall-Röntgenröhren, die entweder für röntgenspektroskopische oder röntgenographische Zwecke erbaut sind, ist es üblich, das Gehäuse und die damit verbundene eine Kathode zu erden und die andere Kathode durch eine Glas- oder Porzellanröhre zu isolieren. Die Glasröhren haben den großen Nachteil, daß sie leicht springen und dadurch einen sicheren Betrieb gefährden. In beide Arten von Isolierröhren müssen die Kathoden eingekittet werden. Um möglichst jeder Kittstelle aus dem Wege zu gehen, um der damit verbundenen Unsicherheit der Zentrierung von Glühkathode, Antikathode und Al.-Fenster vorzubeugen und gleichzeitig den Isolierkörper mechanisch-elektrisch betriebssicher zu machen, haben wir eine Porzellanröhre herstellen lassen, wie sie auf Tafel IV Fig. 1 im Querschnitt dargestellt ist. S_1 und

S_3 sind zwei Porzellanschliffe, die in unserer Werkstatt mit entsprechenden Eisenkernen und weißem Sand vorgeschliffen und dann mit S_1 der Fig. 2 und S_3 der Fig. 3 eingeschliffen wurden. Die zu einander gehörigen Schliffe sind mit demselben Buchstaben bezeichnet. Alle Schliffe sind nach Normaldimensionen bemessen worden. Dieser Isolierkörper hat sich im Betriebe vorzüglich bewährt. Vor allem bewirkt er auch dadurch, daß er die Glühkathode bis zu einer Entfernung von 3 cm von der Antikathode umgibt, daß sich das elektrische Feld auf diese Entfernung konzentriert. Hierauf ist dann auch die große Intensität der Röntgenstrahlen zurückzuführen, mit der sie die Röntgenröhre verlassen.

Fig. 2 stellt die Glühkathode dar, die in den Porzellankörper eingeführt wird. Sie ist aus Kupfer angefertigt und besitzt Wasserkühlung. Bei geeigneter Behandlung von S_1 läßt die in Fig. 1 über S_1 vorgesehene Ausbuchtung des Porzellans eine Quecksilberdichtung zu; ebenso sind Quecksilberdichtungen möglich für S_3 in Fig. 1 und Fig. 3 und ferner für S_2 in Fig. 3 und 4. Der in Fig. 2 durch Quarzröhrchen Q isolierte Draht D trägt an seinem unteren Ende ein Gewinde, in das der eine Glühfadenhalter eingeschraubt wird, während der andere an der Glühkathode selbst mittels eines Gewindes befestigt ist. Diese Vorrichtung gestattet es, den Abstand Glühfaden-Antikathode durch Einsetzen verschieden langer Glühfadenhalter zwischen 2—12 cm zu regulieren und damit die maximale Röhrenstromstärke herauf- oder herabzusetzen. R ist ein Raum, der mit Speckstein ausgefüllt ist, um dem Halter die nötige mechanische Festigkeit zu geben. Sr bedeutet eine Schraube, mit deren Hilfe der Draht D fester angezogen werden kann. Der freigelassene Raum unter Sr und dem oberen Quarzröhrchenkopf Q ist mit Picein ausgefüllt.

Fig. 3 zeigt das Gehäuse G der Röntgenröhre mit seinen Ansätzen A für den Kühlmantel, P und Sp für die Pumpe und Sv für den Vakuumspektrographen. Im Innern von Sv befindet sich das eine Aluminiumfenster, während ein zweites in der Vorderansicht durch zwei Kreise angedeutet ist. Kr bedeutet Kühlraum und M Kühlmantel, der aus Blei gefertigt ist.

Fig. 4 veranschaulicht die Antikathode Ak, die in der üblichen Weise mit Wasserkühlung versehen ist. Die Zusammensetzung der beschriebenen Metall-Porzellan-Röntgenröhre ist aus dem Gesagten leicht ersichtlich. Sie ruht durch den Schliff St in dem Conus eines Dreifußes, der seinerseits isoliert aufgestellt ist. Das Gehäuse wird zur Erzielung höherer Spannungen nicht geerdet. Dementsprechend sind auch die Kühlanlagen isoliert worden.

Fig. 5 und 6 bedeuten eine Verbesserung der Metall-Porzellan-Röntgenröhre, wie sie sich aus Fig. 1—4 ergibt. Während sie sich sonst nur für röntgenographische Aufnahmen verwenden lassen würde, — denn eine Auswechselung des Antikathodenmaterials ist wohl möglich, aber immerhin mit Schwierigkeiten verknüpft — eignet sie sich in der Zusammensetzung Fig 1—3, 5 und 6 für röntgenographische und röntgenspektroskopische Zwecke. Das Gehäuse Fig. 3 wird direkt auf den Pumpenansatz Fig. 6 gesetzt, der wie Fig. 4 in dem Conus eines isoliert aufgestellten Dreifußes ruht. Fig. 5 stellt die für die Verbesserung vorgeschlagene Form der Antikathode dar.

Diese Metall-Porzellan-Röntgenröhre ist für eine maximale Spannung von 100 KV und für eine maximale Röhrenstromstärke von 100 MA berechnet. Im Gebrauch erwies sie sich als völlig betriebssicher.

Sie hat folgende Vorteile:

1. Sie besitzt außer den Al.-Fenstern nur eine einzige Kittstelle, die sich auch noch durch geschickte Anordnung vermeiden ließe.

2. Sie liefert vermöge der Eigenart der Konstruktion ihres Isolierkörpers eine sehr intensive Strahlung, so daß im Vergleich mit den bisher veröffentlichten Diagrammen dieselben Diagramme bei 40—50 % geringerem Energieaufwand hergestellt werden konnten.

f) Eine neue Porzellan-Röntgenröhre.

Die mit den Porzellanschliffen gemachten Erfahrungen, der schon oben angeführte Gedanke, den Spannungsbereich einer Röntgenröhre möglichst zu vergrößern und dieselbe einer

einheitlichen Fabrikation zu unterwerfen, und ferner der Standpunkt der heutigen Porzellantechnik, ließen die Idee aufkommen, eine Röntgenröhre herzustellen, deren wesentlicher Bestandteil Porzellan ist und bei der nur die spannungführenden Teile aus Metall bestehen. Diese Idee liegt hier in der durch Tafel V Fig. 1 charakterisierten Form vor. Die Fig. 4 und 5 der Tafel V stellen die Glüh- und Antikathode der Porzellanröntgenröhre dar, die sich von den oben beschriebenen Kathoden nicht wesentlich unterscheidet. Fig. 1 charakterisiert die vorgeschlagene Form des zylindrischen Porzellangehäuses der Röntgenröhre. S_2 und S_3 sind die Schliffe, die für die Anbringung der Glühkathode und der Antikathode vorgesehen sind. F_1 und F_2 stellen zwei Al.-Fenster dar. S_5 ist der Schliff für den Anschluß der Röhre an den Vakuumspektographen. Die zueinander gehörigen Schliffe sind wieder mit demselben Buchstaben bezeichnet worden. Fig 3 gibt den Querschnitt durch das Al.-Fenster F_1 wieder. Der Porzellanfuß Fig 2 trägt an der Seite einen Ansatzschliff, der für die Vakuumleitung vorgesehen ist. Die Zusammensetzung ist aus Tafel V leicht ersichtlich:

Eine solche Porzellan-Röntgenröhre hat folgede Vorteile:

1. gegenüber einer Glasröhre
   a) ist sie auf jeden Fall betriebssicherer,
   b) bietet sie die Möglichkeit der Auswechselbarkeit des Antikathodenmateriales und des Glühfadens,
   c) sind Glühkathode, Antikathode und Al.-Fenstersicher zu zentrieren,
   d) hat sie eine unbeschränkte Lebensdauer;
2. gegenüber einer Metallröhre
   a) kann sie sowohl für röntgenographische als auch röntgenspektroskopische Zwecke Verwendung finden.
   b) ist ihr Spannungsbereich bedeutend erweitert,
   c) bedarf sie nicht einer besonderen Vorbearbeitung wie es mit dem Metall der Metallröntgenröhre im Vakuum geschehen muß,
   d) sind Handhabungen in der Nähe des Gehäuses an der Aufnahmeapparatur (Einstellung der Blende) auch ohne Erdung desselben ohne Gefahr möglich.

Beiden Röhrenarten hat eine solche Porzellan-Röntgenröhre den wirtschaftlichen Vorteil der einheitlichen Fabrikation voraus.

---

2. Wirkungsweise der Apparatur.

Eine Gesamtansicht der Apparatur ist auf Tafel IV vorhanden. Die Arbeitsweise derselben ist folgende: Nachdem die Blende der Aufnahmeapparatur (Tafel V Fig. 2) in den Gang der Röntgenstrahlen mittels einer Zentriervorrichtung gebracht, das zu untersuchende Material auf den Drehtischchen genau justiert und die photographische Platte in die gewünschte Entfernung vom Aufnahmeobjekt gestellt worden ist, wird die Hochvakuumanlage in Betrieb genommen. Dabei ist es von sehr großem Vorteil, zum Ausfrieren der Gase im Dewargefäß flüssige Luft zu benutzen und einige Male die Hochvakuumanlage auszuspülen, indem man ein kleines Volumen getrockneter Luft der Hochvakuumseite zuführt. Auf diese Weise erreicht man das erforderliche Vakuum bedeutend schneller. Das Ausfrieren der Gase mit fester Kohlensäure zu besorgen, ist wegen der großen Reaktionsträgheit der Quecksilberdämpfe auf diesen Temperaturgrad nicht anzuempfehlen. Nach 5—10 Minuten werden dann die Kühlvorrichtungen der beiden Kathoden in Gang gesetzt, um nunmehr mit der Heizung der Röntgenröhre beginnen zu können. Die durch die Erwärmung des Glühdrahtes freiwerdenden Gase müssen zunächst abgepumpt werden. Oft dauert dieser Vorgang sehr lange, besonders, wenn ein neuer Glühdraht eingezogen worden oder in der Röntgenröhre geringes oder gar kein Vakuum vorhanden gewesen ist. Die von den Metallteilen der Röntgenröhre absorbierten Gase müssen dann durch längeres Heizen jedesmal erst wieder losgelöst werden. Eine Parallelfunkenstrecke läßt den geeigneten Zeitpunkt erkennen, wenn die Durchleuchtung des Objektes mit Röntgenstrahlen durch Anlegen der Hochspannung beginnen kann. Jedoch muß hier mit großer Vorsicht vorgegangen werden, da die auf die Antikathode und andere Metallteile der Röntgenröhre auf-

prallenden Elektronen ein Freiwerden von Gasen bewirken, die für die Sicherheit der Hochspannungsseite durch Anlegen der vollen Hochspannung sehr gefährlich werden können. Daher tut man gut, die Hochspannung langsam in gewissen Zeitabschnitten, die jeweils durch die Erfahrung bestimmt werden, stufenweise auf die erforderliche Höhe zu bringen. Es empfiehlt sich bei dem Unruhigwerden (Flackern) der Hochspannung, dieselbe abzuschalten, wiederum eine Ausspülung vorzunehmen und dann nach einigen Minuten mit der Aufnahme fortzufahren.

III. Untersuchte Strukturänderungen.

In der folgenden Literaturbesprechung sollen die wichtigsten Ergebnisse der bisher erforschten Walz- und Rekristallisationsstrukturen in der Hauptsache von Cu und Al einheitlich zusammengefaßt werden, um eine Erweiterung durch die Resultate der vorliegenden Untersuchungen zu erfahren.

1. Literaturbesprechung.

K. E. F. Schmidt[1]) veröffentlichte als einer der ersten die Feststellung von Strukturänderungen mit Hilfe des Laue-Verfahrens an Metallen durch Warm- und Kalt-Bearbeitungen. Diese Untersuchungen konnten jedoch noch keine quantitativen Ergebnisse zeitigen, da das Auftreten der verschiedenen Diagramme an demselben Material ein Novum war und die Methoden zur Aufklärung dieser Erscheinungen erst entwickelt werden mußten. Die S. 1 angeführten Gründe behinderten K. E. F. Schmidt an weiteren Untersuchungen, so beschränkte er sich zunächst auf die qualitativen Feststellungen, daß bei verschiedener Bearbeitung des Materials Debeye-Scherrer Kreise und Radialdiagramme in seinen Aufnahmen zum Teil auftraten und wieder verschwanden. Erst in der Nachkriegszeit sind qualitative Methoden zur Erforschung der Strukturen von Metallen theoretisch entwickelt und praktisch durchgeführt worden, von denen die von M. Polanyi[2]) hier Erwähnung finden soll, da wir in der später folgenden Diskussion der Diagramme von den von Polanyi gegebenen Begriffen Gebrauch machen.

---

[1]) K. E. F. Schmidt, Phsyk. Zeitschr. 17, 1916, S. 554. Beugung der Röntgenstrahlen in Metallen.

[2]) M. Polanyi, Das Röntgenfaserdiagramm. Zeitschr. f. Physik. Jahrgang 1920, S. 149.

M. Polanyi stützt sich in seinen Ausführungen auf die durch K. E. F. Schmidt, wie schon erwähnt, Herzog und Janke[1]) und P. Scherrer[2]) aufgefundenen neuartigen monochromatischen Röntgendiagramme, Faserdiagramme. Seinen theoretischen Erörterungen gingen einige vorläufige Mitteilungen[3]) des Kaiser-Wilhelm-Instituts in Berlin-Dahlem voraus.

So wurde von M. Polanyi[4]) am Wolfram-Draht[5]) eine einfache Faserung nach der Flächendiagonale des Elementarwürfels und am Kupferdraht[6]) eine doppelte Faserung und zwar nach der Raumdiagonale einerseits und nach der Würfelkante des Elementarwürfels andererseits festgestellt.

Die Versuche über die Dehnungsvorgänge an Zink-Einkristallen[7]) zeigten, daß die Dehnung der Drähte nicht unmittelbar in der Zugrichtung erfolgte, sondern daß auf Grund der Gitterstruktur sich gewisse Gleitschichten ausbilden, die längs bestimmten Gleitrichtungen abgleiten und sich dann erst in die Zugrichtung umbiegen. Diese Gleitrichtungen sind bestimmte kristallographische Richtungen, die ihrerseits durch kristallographisch ausgezeichnete Ebenen den sogenannten Gleitflächen bedingt sind. Da der Deformationsprozeß des Walzens in der Hauptsache auf die Kraftkomponenten parallel zur Foliennormale, zur Querrichtung und zur Walzrichtung zurückzuführen ist, so lag der Gedanke nahe, gewalzte Folien durch Herstellung von Faserdiagrammen in Bezug auf ihre Gleitrichtungen und Gleitebenen zu untersuchen. Nachdem Weißenberg[8]) auf Grund seiner allgemeinen geometrischen Untersuchungen genauere Angaben über die Gitteranordnung in gewalzten Folien machen konnte — er stellte fest, daß Foliennormale, Walzrichtung und die zu beiden senkrechte

---

[1]) Ber. d. D. Chem. Ges. 53, 2162, 1921. Zeitschr. f. Physik, 3, 343, 1920.

[2]) Zsigmondy-Kolloidchemie 3. Aufl. 1920, S. 408.

[3]) Zeitschr. f. Phys. 3, 843, 1920. Zeitschr. f. Physik 4, 61, 1921. Die Naturwissenschaften 9, 288, 337, 1921.

[4]) M. Ettisch, M. Polanyi und K. Weißenberg, Zeitschr. f. Physik 7, 1921, S. 181.

[5]) P. Debeye, Phys. Zeitschr. 18, 483, 1917.

[6]) Bragg, Philos. Mag. 28, 355, 1914.

[7]) Mark, M. Polanyi, Zeitschr. f. Phys. 12, 58, 1922.

[8]) Weißenberg, An. d. Phys. 69, 409, 1922.

Querrichtung diagonale[1]) Achsen sind — entwickelten Mark und Weißenberg[2]) eine experimentelle Methode (Durchleuchtung parallel zu einer Raumdiagonale) zur Sicherstellung der Gitterlagen. Es ergab sich, daß in allen flächenzentrierten, kubischen Metallen Cu, Pt, Al, Ag und Au dieselbe ausgezeichnete Gitterlage (Walzrichtung parallel [112], Querrichtung [111], Foliennormale parallel [110]) auftritt, nur daß sie in den einzelnen Metallen in der Streuung verschieden ist. Franz Wever[3]) kommt auf Grund systematischer Untersuchungen der Walzstruktur in Abhängigkeit vom Walzgrad zu dem Ergebnis, daß durch Walzen die Formänderung im Aluminium sich durch eine Translation längs Gleitflächen im Sinne der Tammanschen Gleithypothese auswirkt.[4]) Seine Resultate decken sich weiterhin mit denen von M. Ettisch, M. Polanyi und K. Weißenberg, die oben angeführt wurden. Göhler und Sachs[5]) bestätigen im allgemeinen den von Mark und Weißenberg festgelegten Befund, kommen aber zu dem Resultat, daß eine Aufspaltung der angegebenen Lage erfolgt ist, in der Art, daß eine [110] —Richtung 20^0 gegen die Walzebene geneigt ist. Jedoch wird sich hierüber erst genaueres ergeben können, wenn wir in der Erkenntnis des Gleitmechanismus des Kristalles und der Kristallite weiter vorgedrungen sind.

Während in den letzten Jahren über die Walzstrukturbestimmungen mit Hilfe von Röntgenstrahlen verhältnismäßig viel Literatur entstanden ist, liegen über die röntgenographische Bestimmung von Rekristallisationstexturen in Metallen noch wenige Untersuchungen vor. K. E. F. Schmidt stellte solche Texturen schon im Jahre 1916 in der oben angeführten Arbeit fest. Göhler und Sachs gingen bei ihren Untersuchungen von der Voraussetzung aus, daß die Rekristallisationstextur in gewissem Grade von der Walztextur abhängig sei, weil die

---

[1]) Die kristallographischen Bezeichnungen stützen sich auf das Lehrbuch der Mineralogie. P. Niggli, 2. Aufl. 1924.

[2]) Mark und Weißenberg, Zeitschr. f. Phys. 14, 1923, S. 329.

[3]) Franz Wever, Zeitschr. f. Phys. 28, 1924, S. 69.

[4]) Lehrbuch der Metallographie, 3. Aufl., Leipzig 1923, S. 70.

[5]) Göhler und Sachs, Zeitschr. f. Phys., 1927, S. 873.

Veröffentlichungen von Glocker, E. Kaupp und H. Widmann[1]) darauf hinzudeuten schienen. Jedoch wurde dieses nur durch einige gelegentliche Beobachtungen gestützt. Im Verlaufe ihrer Forschungen ergab sich denn auch, daß die sich nach dem Glühen eines einseitig gewalzten Kupferbleches einstellende scharfe Rekristallisationslage in keinem Zusammenhange mit der Walztextur stand. Ferner wurde von diesen Forschern das schon von Köster[2]) gefundene Ergebnis neu bestätigt, daß Glühtemperatur, Glühdauer und Erhitzungsgeschwindigkeit ohne Einfluß auf die Ausbildung der Kristallorientierung sind.

Die vorliegenden Untersuchungen beschäftigen sich ebenfalls mit derartigen Rekristallisationstexturen an Cu, Al und drei Magnesiumlegierungen und ihrer Beeinflussung durch Kaltbearbeitungen (Hämmern). Wir stellen uns den Vorgang des Hämmerns folgendermaßen vor: Ist die Hammerfläche nach unten konvex gekrümmt und trifft sie mit dieser krummen Fläche die ebene Metallfläche, dann würde im idealen Falle ein Punkt, im realen dagegen eine Fläche von dem Drucke getroffen werden. Diese Druckfläche wird im allgemeinen ein Kreis sein. Die praktische Erfahrung lehrt nun, daß beim Hämmern eines Materials das Objekt an Dicke abnimmt und sich allseitig ausdehnt. Wir können daher den gesamten, von der Hammerfläche ausgeübten Druck zerlegen in zwei Komponenten, von denen die eine in Richtung der Foliennormale des Metalles wirkt und die Dicke des Materials herabsetzt, während die andere parallel zur Folienebene gerichtet ist und eine Verbreiterung derselben hervorruft.

Geht man unter dieser Voraussetzung an die Untersuchung des Materials, so muß man eine durch diese radialen Druckkomponenten hervorgerufene Streuung der in einer Walz- oder Rekristallisationstextur bevorzugten Gleitrichtungen erwarten, was auch durch die Versuche bestätigt wurde. Leider mußte auf eine quantitative Deutung zunächst noch verzichtet werden, da die Untersuchung der durch Hämmern beeinflußten Strukturen mit Hilfe von Röntgenfaserdiagrammen noch in ihren Anfängen steckt.

[1]) Glocker, E. Kaupp, H. Widmann, Zeitschr. f. Metallk. 17, 353, 1925.
[2]) W. Köster, Zeitschr. f. Metallkunde 18, 112—116, 1926.

Das Ziel unserer Untersuchungen ist dadurch gekennzeichnet, daß wir folgende Fragen zu beantworten suchten:

1. Ist die Rekristallisationstextur abhängig
   a) von der Temperatur, Erhitzungsdauer und Erhitzungsgeschwindigkeit,
   b) von der Vorbearbeitung des Materials?
2. Weisen die Strukturen der Metalle, die dem Deformationsprozeß des Hämmerns unterworfen worden sind, gewisse ausgezeichnete Richtungen auf?

2. Strahlungsart.

Die für die Herstellung der Strukturbilder verwendete Strahlung stammte von der oben beschriebenen Metall-Porzellan-Röntgenröhre, die bei Benutzung eine Cu-Antikathode, die $K\alpha$ ($\lambda = 1{,}54$ A^0 E) und die $K\beta$ ($\lambda = 1{,}40$ A^0 E) Linie neben dem Bremsspektrum mit hinreichender Intensität lieferte. Sämtliche Aufnahmen wurden bei einer Spannung von 20 KV und einer Röhrenstromstärke von 20 MA hergestellt. Die Belichtungszeit betrug eine Stunde.

Da der Abstand Antikathode—Untersuchungsobjekt auf 70mm herabgedrückt werden konnte durch geschickte Blendenanordnung und ferner nur Spezialröntgenplatten[1]) zur Verwendung gelangten, so wurden Diagramme erzielt, die an Intensität nichts zu wünschen übrig ließen und für deren Herstellung 40—50 % weniger Energieaufwand erforderlich ist als es mit irgend einer der bisher bekannten Röntgenröhren möglich ist. Die Entfernung Objekt—Photographische Platte wurde für die verschiedenen Materialien, Kupfer, Aluminium und für die drei Magnesiumlegierungen mit 15, 20, 25 mm gewählt.

3. Material.

An das Material sind keine besonderen Vorbedingungen hinsichtlich der Bearbeitung gestellt worden. Es wurde ohne besondere Kenntnis seiner Vorgeschichte und ohne Anspruch

[1]) Dr. Schleußner, Neo-Röntgenplatten auf Grund von Versuchen besonders für weiche Strahlung geeignet.

auf Reinheit, so — wie es in den Handel kommt — als Ausgangsmaterial benutzt und einer Warm- und Kaltbearbeitung unterzogen.

a) Cu. Zur Verfügung stand ein Kupferschablonenblech von 0,05 mm Dicke, wie es von der Firma Cochius, Berlin, geliefert wird. Diesem Bleche entnahm ich Proben von 20×30 mm². Außerdem stellte ich mir mit Hilfe eines Daniellschen Elementes eine Elektrolytkupferhaut von 0,22 mm Dicke her.

b) Aluminium. Die Proben der Aluminiumversuchsreihe fertigte ich mir aus 0,1, 0,5 und 1 mm dickem gewalztem Blech, dessen Walzrichtung sich leicht bestimmen ließ. Ferner wurden von einer Gußstange und einem 1 mm starken Blech 0,3 mm[1]) dicke Proben abgedreht.

c) Magnesiumlegierungen. Die J.G.-Farbenindustrie Bitterfeld, Griesheim-Elektron, überließ mir freundlicherweise drei Magnesiumlegierungen mit folgender Zusammensetzung:

Bezeichnung:	Anteile in %:
1. A_5	Mg 95 %, Al 5 %,
2. Az_{551}	Mg 93,5 %, Al 5,5 %, Zn 1 %,
3. CM	Mg 99,8 %, Si 0,2 %.

Das günstigste Verhältnis zwischen Belichtungszeit und Intensität der Diagramme ergaben die auf 0,25 mm gewalzten Proben, deren Walzrichtungen — wie bei Kupfer und Aluminium — sich leicht bestimmen ließen. Ferner standen mir von den beiden letzten Legierungen A_5 und Az_{551} Gußplatten von der Dicke 0,8, 1,8 und 2,25 mm zur Verfügung. Die Gußplatten mit der Stärke 0,8 und 1,8 mm waren in der Weise hergestellt worden, daß die Gußmasse zwischen zwei ebenen Platten auf obige Dicke zusammengepreßt wurde; dagegen sind die Gußplatten in der Stärke 2,25 mm von einer Gußstange von ca. 2 5cm Durchmesser abgedreht worden. Aus den Platten wurden die entsprechenden Proben durch Abdrehen von 0,3 mm²) erzielt.

---

[1]) In den Tabellen mit * bezeichnet.

[2]) In den Tabellen mit ° bezeichnet.

4. Bearbeitung des Materiales.

Die Bearbeitung des Materiales geschah in folgender Weise: Von dem Ausgangsmaterial stellte ich jeweils zwei Proben A und B her. Die Versuchsreihe der Proben A unterzog ich nur einer Kaltbearbeitung (Hämmern). Die Proben der Reihe B wurden zunächst während 18 Stunden auf 200 bis 250° C erwärmt, dann derselben Temperatur nochmals 72 Stunden ausgesetzt, um schließlich unter Luftabschluß bis zur schwachen Rotglut erhitzt zu werden. Von den einzelnen Stufen der Warmbearbeitung stellte ich Diagramme her, von denen nur einige wiedergegeben sind, da die Parallelaufnahmen nichts wesentlich Neues aussagten.

Die so erhaltenen Proben sind weiterhin gehämmert worden, wobei versucht wurde, den größtmöglichen Hämmergrad zu erreichen; dabei verstehen wir unter Hämmergrad das Verhältnis der Dicke des Materiales nach der Bearbeitung zu der Dicke vor der Bearbeitung. So weit derselbe ermittelt werden konnte, ist er bei der Diskussion der Diagramme angegeben.

Um im folgenden Raum zu ersparen und ein schnelleres Verständnis der Strukturbilder in Bezug auf die Art der Bearbeitung des zugehörigen Materials zu ermöglichen, möchte ich an dieser Stelle Abkürzungen einführen. Es sollen die Buchstaben hinter der fortlaufenden Nummer der Diagramme auf den Tafeln VI bis XII folgende Bedeutung haben:

a = das Diagramm wurde vom unbearbeiteten Ausgangsmaterial hergestellt;
b = das Material ist gehämmert worden;
c = das Material wurde einer Warmbearbeitung unterzogen.

Die Reihenfolge der Buchstaben soll die Reihenfolge der Art der Bearbeitung angeben, z. B. Fig. 10 (a, c, b) heißt, daß das Ausgangsmaterial (a) erst erwärmt (c) und dann gehämmert (b) worden ist.

5. Diskussion der erhaltenen Strukturbilder.

In der Tabelle I sind alle diejenigen Diagramme von den Proben aufgeführt, die uns als Ausgangsmaterial gedient haben.

Die Fig. 5 Al und 23 Cu stimmen mit denen von M. Polanyi[1]) gefundenen überein, geben aber mehr Details.

Das Diagramm der Fig. 1 Al zeigt eine merkwürdige anomale Zerfransung der Interferenzflecke, deren Deutung bisher nicht gelungen ist.

Die für gewalztes Al-Blech gefundene Fig. 9 läßt deutlich erkennen, daß eine Verformung des Materiales durch den Deformationsprozeß des Walzens kaum eingetreten ist. Wir schließen hieraus, daß der Walzgrad, nach den Ergebnissen von Franz Wever, höchstens 1—2 % sein kann.

Fig. 15 berechtigt in Bezug auf ihre Unsymmetrie zu einem Vergleich mit dem von Franz Wever gefundenen Diagramm.[2]) Da Wever ein bedeutend härteres Brennspektrum und längere Belichtungszeiten anwendete, so sind ihm wahrscheinlich die Feinheiten dieser Radialdiagramme entgangen, die sich bei meinen Aufnahmen auch an gewalztem Cu-Folien (Fig. 23—26) bei sehr weicher Strahlung zeigen. Bei Verwendung beträchtlich härterer Strahlung gehen sie zu difusen Flecken ineinander über.

Das Diagramm der Elektrolythaut Fig. 27 zeigt einen gegenüber dem von Glocker[3]) gewonnenen wesentlichen Unterschied. Eine Kristallbildung, die in Richtung des Stromes, d. h. parallel zur Foliennormale erfolgt ist, läßt sich erkennen. Sie trägt aber einen derartig verwaschenen Charakter, — die Streuung ist zu groß — daß man wohl kaum von einer Bevorzugung irgend einer Richtung reden kann. Die einzelnen Punkte beweisen, daß Kristallite verschiedener Formengröße zur Ausbildung gekommen sind. Diese Verschiedenheit der Strukturen ist sicher nach Glocker darauf zurückzuführen, daß als Lösung $CuSO_4$ und als Niederschlagsmaterial Kohle gewählt wurde. Insofern ist eine Uebereinstimmung mit den von Glocker gefundenen Resultaten vorhanden.

---

[1]) M. Polanyi, Zeitschr. f. Phys. 14, 1923, S. 328.

[2]) Franz Wever, Zeitschr. f. Phys. 28, 1924, S. 79, 4. Bild B 2,4/0,28 88,5 %.

[3]) R. Glocker, Zeitschr. f. Phys. 31, 1925, S. 386.

Fig. 19 läßt auf Grund der kleineren Absorption in Folge der geringeren Dicke des Materiales noch mehr Einzelheiten erkennen, als sie bei Fig. 15 zu erreichen waren.

Die von uns durchleuchteten drei Magnesiumlegierungen A_5, Az_{551} und CM zeigten in Uebereinstimmung eine regellose Anordnung ihrer Kristallite unter dem Einfluß des Walzens (Fig. 32 und 37). Eine weitere Bearbeitung durch Hämmern brachte keine Aenderung; das Material wurde dichter und verminderte nur die Intensitäten der Diagramme bei sonst gleichen Bedingungen. Auch die oben beschriebenen Gußplatten, die durch konstanten Druck zusammengepreßt waren, ergeben dieselben Diagramme, die daher nicht wiedergegeben sind.

Anders dagegen ist es mit den Proben, die aus dicken Gußstangen parallel zum Querschnitt gewonnen wurden (Fig. 34 und 38). Da hier bei einer schiefen Stellung der Proben dieselben Diagramme auftraten, so kann man auf eine Faserung der Kristallite mit der Foliennormale als Faserungsachse schließen. Eine gewisse Aehnlichkeit ist mit dem Diagramm der Fig. 1 vorhanden.

Die Tabelle II stellt alle diejenigen Diagramme zusammen, die durch Warmbearbeitung der Proben der Tabelle I gewonnen worden sind.

Im allgemeinen erkennt man durch einen Vergleich mit den entsprechenden Diagrammen der Tabelle I, daß die bei der Rekristallisation eintretende Orientierung der Kristallite nach ganz anderen Richtungen erfolgt ist, als die Gleitebenen beim Deformationsprozeß des Walzens sich betätigt haben. Von einer völligen „Rekristallisation“ im Tammanschen Sinne kann nur bei Fig. 2 die Rede sein, wo das Diagramm dem eines Einkristalles entspricht. Daß der Grad der Rekristallisation von der Höhe der Temperaturen und nicht von der Glühdauer der An- und Ablaufszeit der Erhitzung abhängig ist, beweisen die Fig. 14, 33, 41. Das Material der Fig. 14 wurde 40 Stunden bei einer Temperatur von 300° erhitzt und zeigt im wesentlichen einen weniger kristallinischen Charakter als das der Fig. 10, das nur wenige Minuten auf Glühtemperatur gehalten wurde. Fig. 33, 41 sind auf die verschiedensten Temperaturen zwischen 100—200° bei einer Erhitzungsdauer

von 1—72 Stunden geglüht worden und bewahrten immer den in den Diagrammen wiedergegebenen Charakter.

Die Proben der Tabellen I und II wurden nun dem Deformationsprozeß des Hämmerns unterworfen. Ihre entsprechenden Diagramme sind in den Tabellen III und IV verzeichnet. Es stellte sich heraus, daß die Vorbearbeitung des Materiales einen gewissen Anteil an der durch das Hämmern eintretenden Gleitung der Materialschichten hat. Besonders bei den gewalzten Blechen Tabelle III zeigt sich dieser Einfluß Fig. 7 und 26, bei denen sich in der Hauptsache die Gleitebenen in der Walzrichtung beteiligt haben. Hier ruft das Hämmern im Diagramm eine Aenderung hervor, derart, daß sich die Streifen des Ursprungsdiagrammes zu Kreisen zusammenzuschließen suchen, was einer beträchtlichen Streuung der Gleitebenen gleichkommt, die in eine Regellosigkeit der Kristallite ausarten kann (Fig. 28).

Die Diagramme der Tabelle IV zeigen die Uebereinstimmung miteinander, daß, wenn ein Kristallhaufe gehämmert wird, sehr viele Gleitebenen sich derart betätigen, daß eine Faserung in Richtung der Foliennormale eintritt. Dieser Befund wird durch die Anwesenheit der Radialdiagramme und durch die Aufnahmen gestützt, die unter verschiedenen Neigungswinkeln gegen den Röntgenstrahl hergestellt worden, aber wegen ihrer Uebereinstimmung nicht wiedergegeben sind. Mit wachsendem Hämmergrad vermehrt sich die Zahl der Radialstreifen und die Debeye-Scherrer-Kreise werden mehr und mehr vervollständigt (Fig. 11 und 12). Das Hämmern des Materiales der Fig. 33 führt zur vollen Uebereinstimmung in den Diagrammen mit Fig. 32.

IV. Zusammenfassung.

1. Es wird eine neue Metall-Porzellan-Röntgenröhre angegeben, die für röntgenographische und röntgenspektroskopische Zwecke geeignet ist, und die als Strahlungsquelle einen Wellenbereich von 0,15 bis 6 AE umfaßt.

2. Es wird eine neue Porzellan-Röntgenröhre angegeben, die den Vorteil hat, daß sie während des Betriebes gasfrei und in den durch ihre Dimensionen vorgeschriebenen Grenzen beliebig belastbar ist.

3. Es wird an Kupfer, Aluminium und Magnesiumlegierungen nachgewiesen, daß die Rekristallisationstextur unabhängig von der Dauer der Erwärmung des Materials, nur abhängig von der Höhe der Temperatur ist, da durch diese die Wachstumsgeschwindigkeit der Kristalle bestimmt ist und ferner, daß die Orientierung der Kristallite unabhängig von der Vorbearbeitung des Materiales ist.

4. Es wird gezeigt, daß bei Hämmern von Folien die Vorgeschichte des Materiales für die Aenderung seiner Struktur von Bedeutung ist und bei rekristallisierten Materialien die Foliennormale als Fasernachse der Gleitebenen aufzufassen ist.

Am Schlusse meiner Arbeit sei es mir gestattet, Herrn Prof. Dr. K. E. F. Schmidt für die Anregung zu den vorliegenden Untersuchungen und deren jederzeitigen Förderung meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen. Auch möchte ich es nicht versäumen, den Herren Oberingenieuren Schreiber und Beck der J. G. - Farbenindustrie Bitterfeld - Griesheim-Elektron an dieser Stelle für die freundliche Ueberlassung der Magnesiumlegierungen zu danken.

V. Literaturverzeichnis.

Bragg: Philos. Magazin, 28, 355, 1914.
Debeye, P.: Physik. Zeitschr. 18, 483, 1917.
Ettisch, M., Polanyi, M., Weißenberg, K.: Zeitschr. f. Phys. 7, 1921, S. 181.
Glocker, R., Kaupp, E., Widmann, A.: Zeitschr. f. Metalik. 17, 353, 1925.
Glocker R.: Zeitschr. f. Phys. 31, 1925, S. 386.
Göhler und Sachs: Zeitschr. f. Phys. 1927, S. 873.
Herzog und Janke: Berichte d. Deutsch. Chem. Ges. 53, 2162, 1921.
Herzog und Janke: Zeitschr. f. Phys. 3, 343, 1920.
Köster, W.: Zeitschr. f. Metallk. 18, 1112—16, 1926.
Mark und Weißenberg: Zeitschr. f. Phys. 14, 1923, S. 329.
Mark, Polanyi und Schmidt: Zeitschr. f. Phys. 12, 58, 1922.
Niggli, O.: Lehrbuch für Mineralogie 2. Aufl. 1924.
Polanyi, M.: Zeitschr. f. Phys. 1920, S. 149.
Schmidt, K. E. F.: Phys. Zeitschr. 17, 1916, S. 554.
Tamman: Lehrbuch der Metallographie, 3. Aufl., Leipzig 1923.
Weißenberg: An. d. Phys. 69, 409, 1922.
Wever, Fr.: Zeitschr. f. Phys. 28, 1924, S. 69.
Zsigmondy: Kolloidchemie. 3. Aufl. 1920.

Ferner wird auf die in den angeführten Arbeiten angegebenen Literaturstellen hingewiesen.

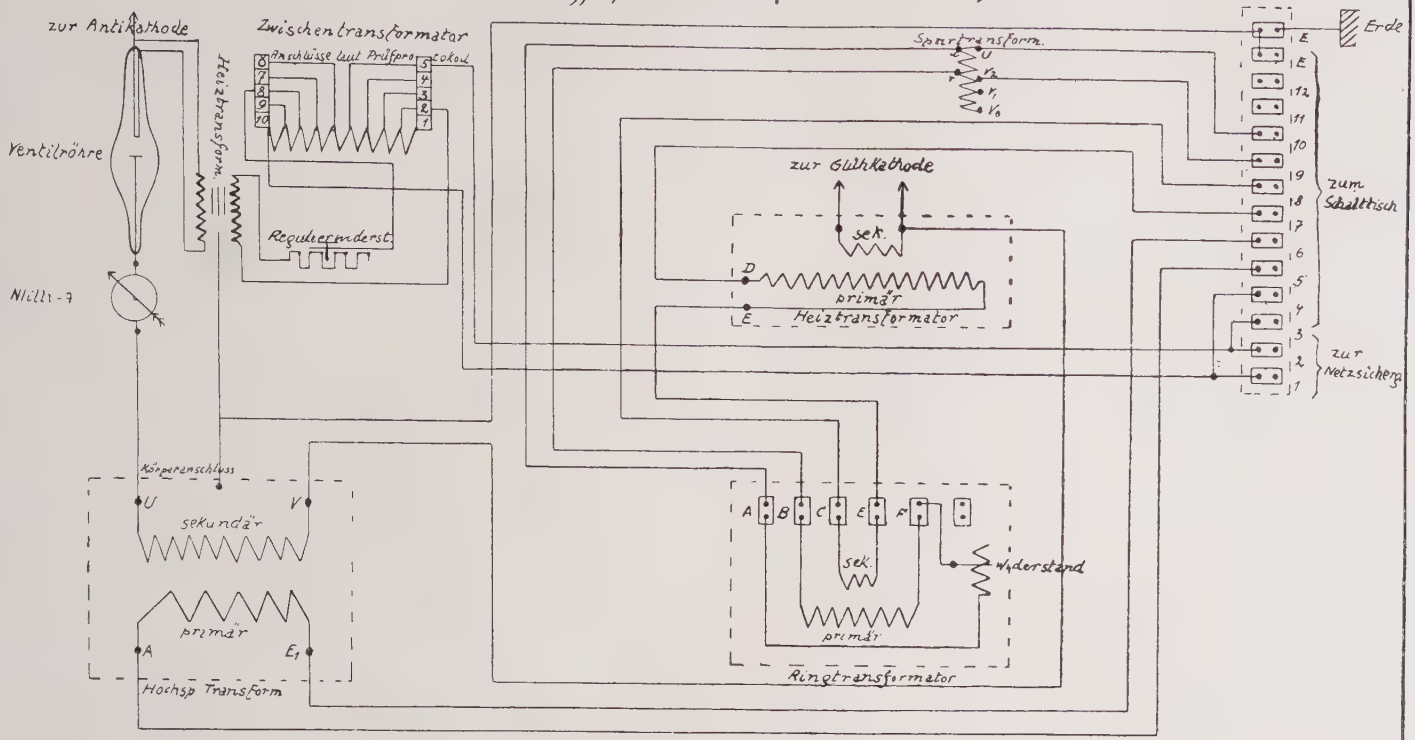
Zusatz: Die Diagramme im Druck lassen bei weitem nicht alle Einzelheiten der photographischen Platten erkennen.

ANHANG.

Generator zur Glühkathodenröhren-Röntgeneinrichtung

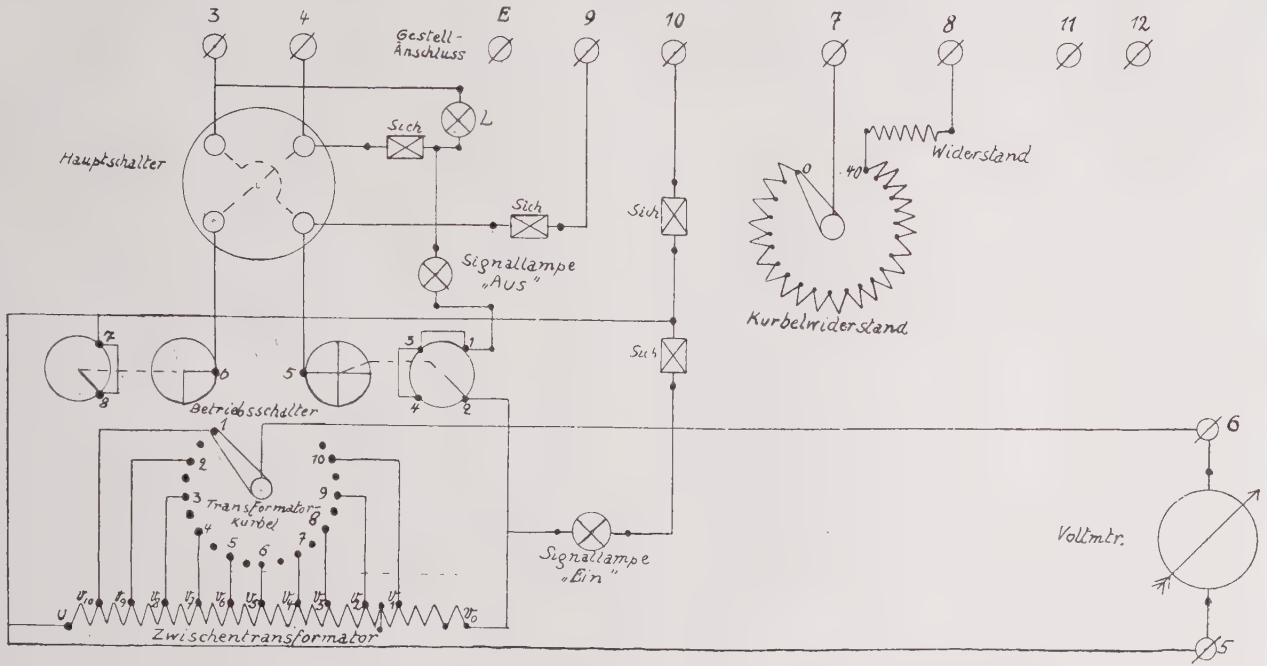
Tafel I

für Wechselstrom 90/220/300 Volt. 50 Per.

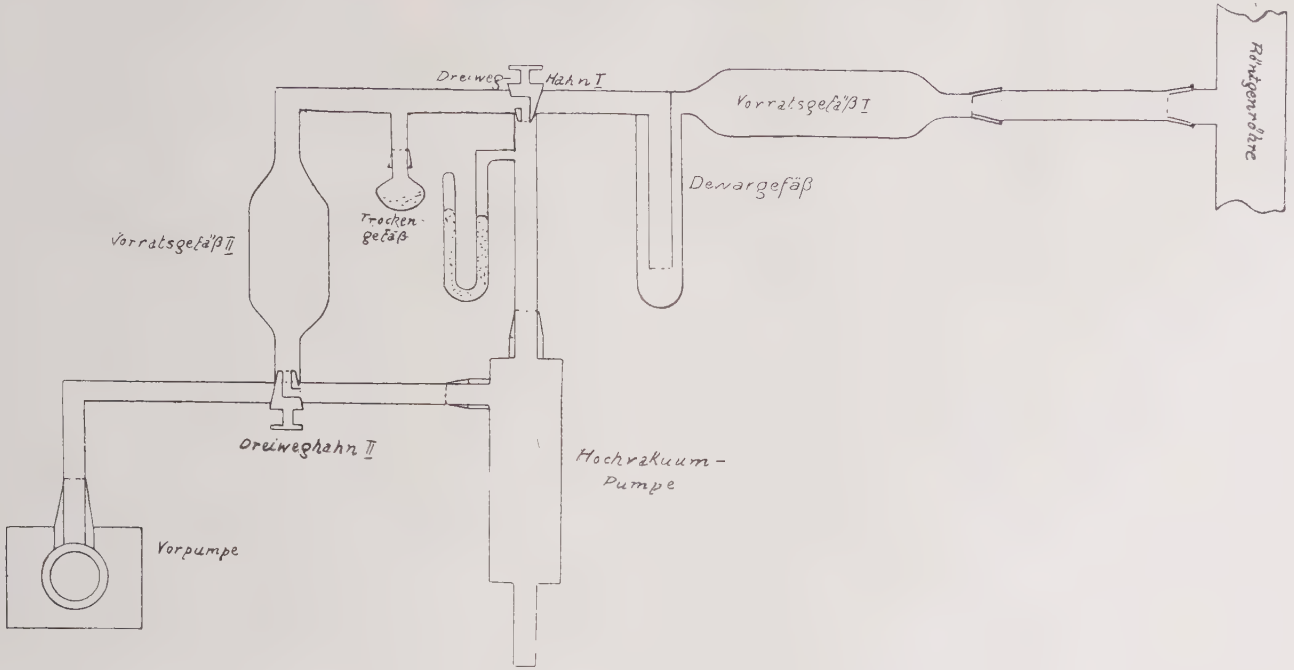


Schalttisch zur Glühkathodenröhren-Röntgeneinrichtung für 220 Volt Wechselstrom.

Tafel II



Hochvakuum-Anlage. Tafel III



Tafel IV

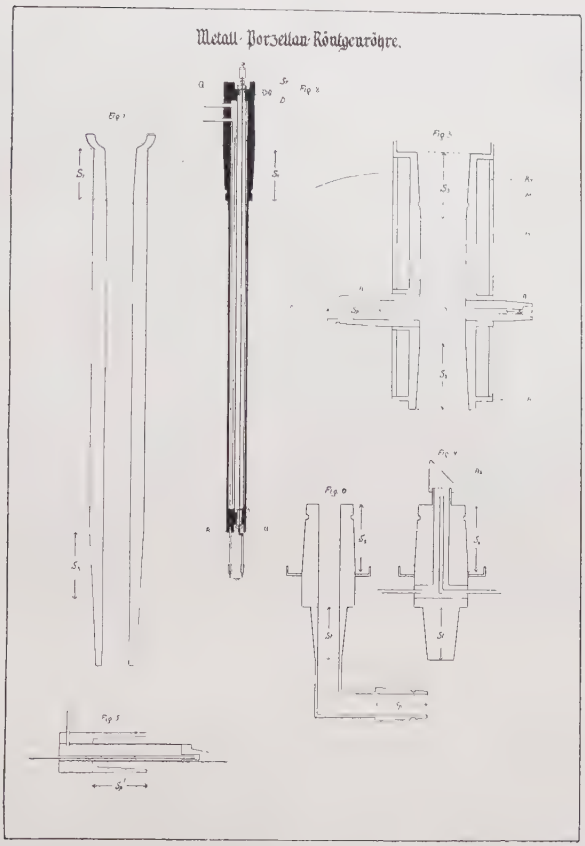


Fig. 1

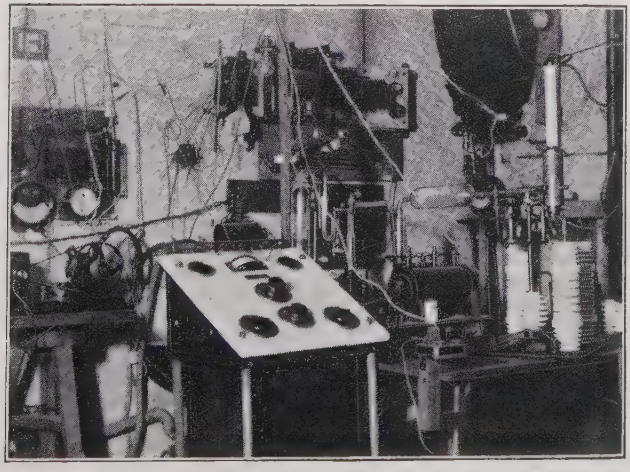


Fig. 2

Tafel V

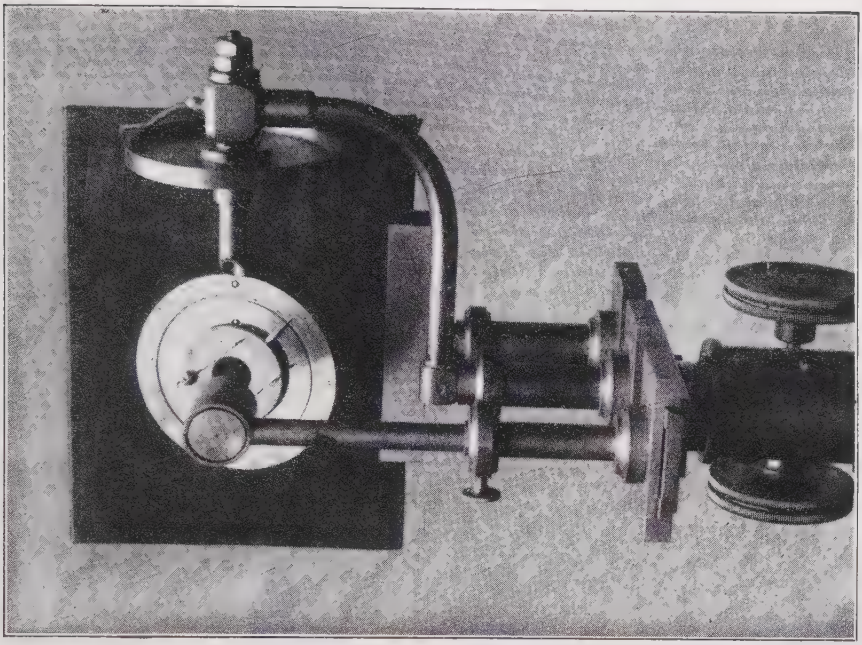


Fig. 2

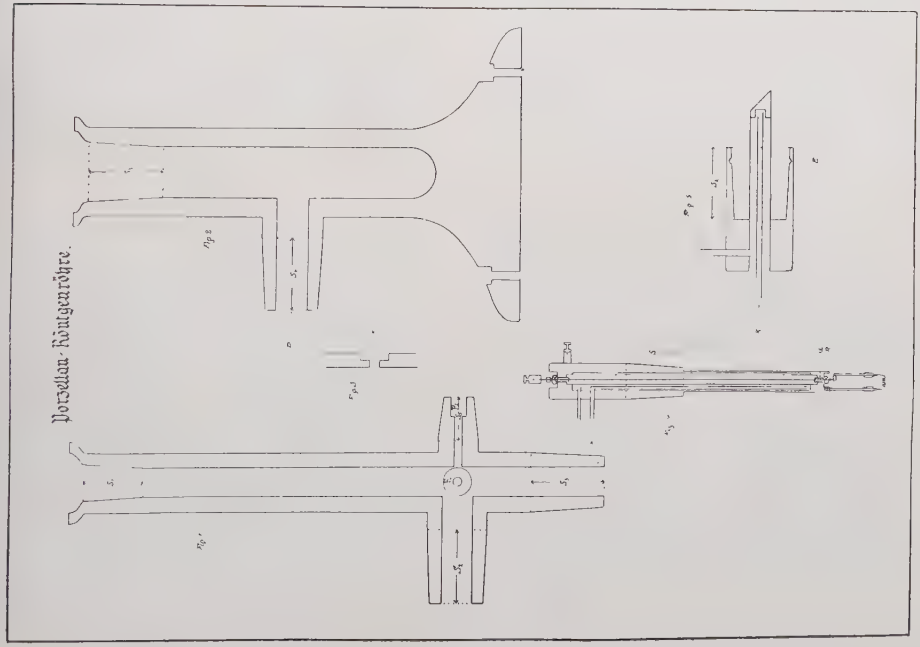
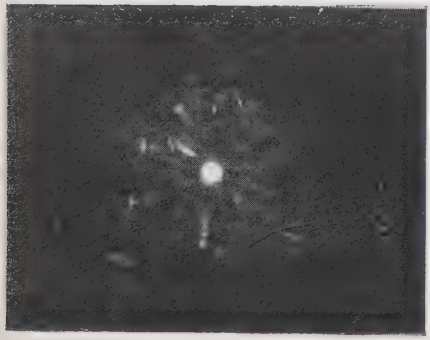
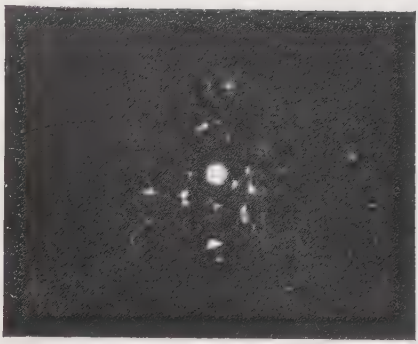


Fig. 1

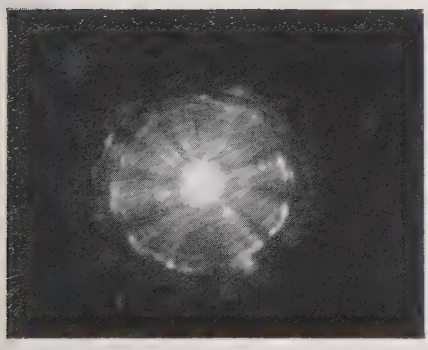
Tafel VI



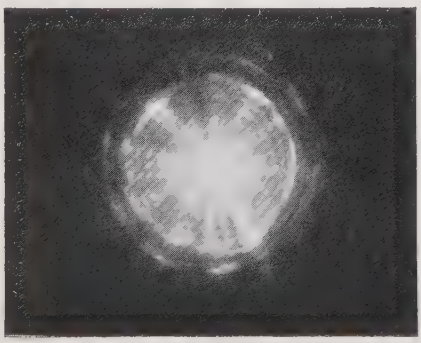
Al Fig. 1 (a) 0,3*



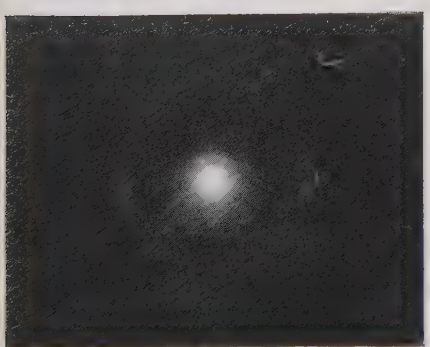
Al Fig. 2 (a, c) 0,3*



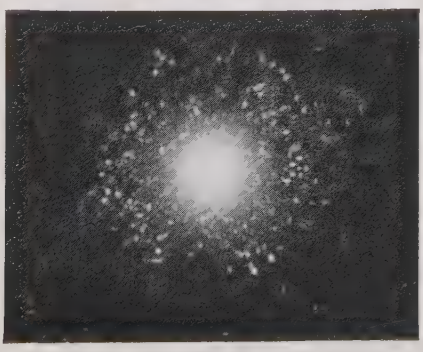
Al Fig. 3 (a, b) 0,3*



Al Fig. 4 (a, c, b) 0.3*

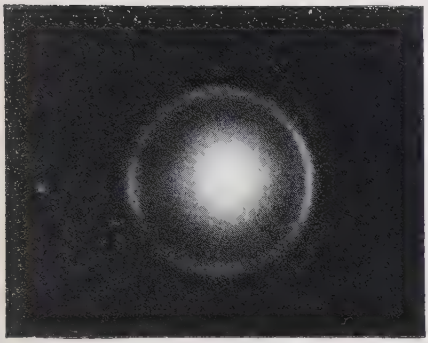


Al Fig. 5 (a) 0,1

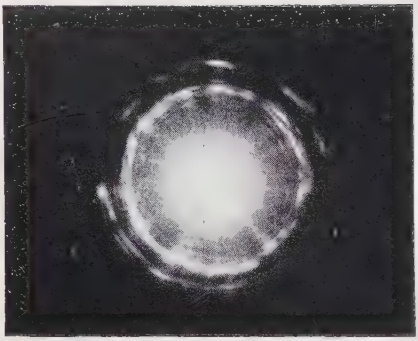


Al Fig. 6 (a, c) 0,1

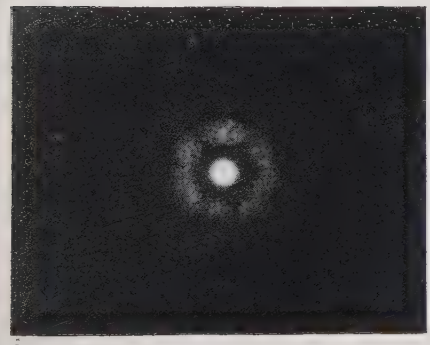
Tafel VII



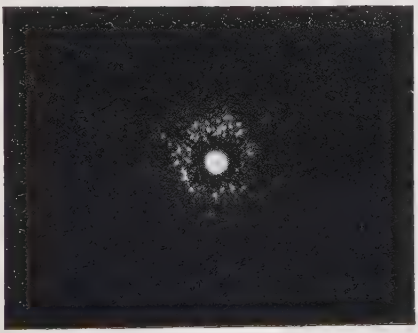
Al Fig. 7 (a, b) 0,1



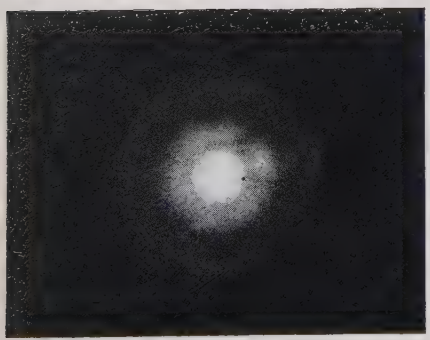
Al Fig. 8 (a, c, b) 0,1



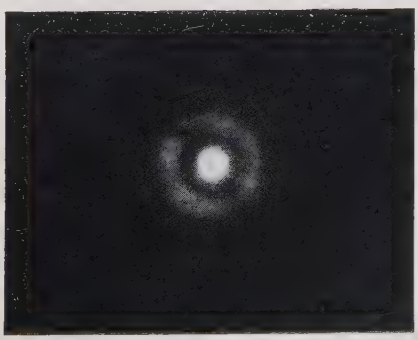
Al Fig. 9 (a) 0,5



Al Fig. 10 (a, c) 0,5

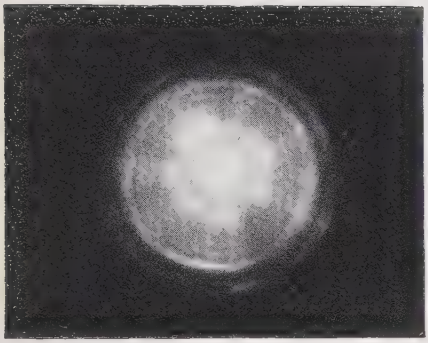


Al Fig. 11 (a, b) 0,5

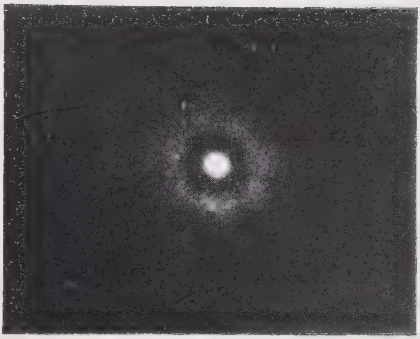


Al Fig. 12 (a, b) 0,5

Tafel VIII

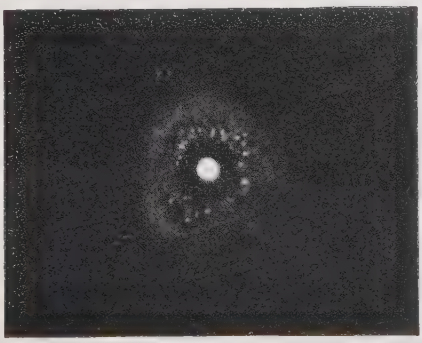


Al Fig. 13 (a, c, b) 0,5

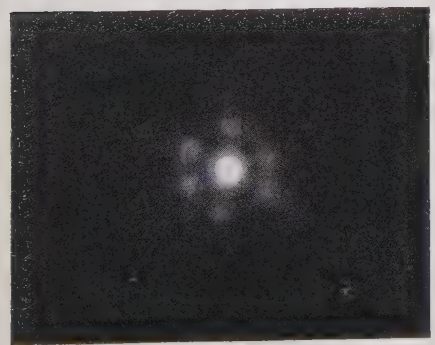


Al Fig. 14 (a, c) 0,5

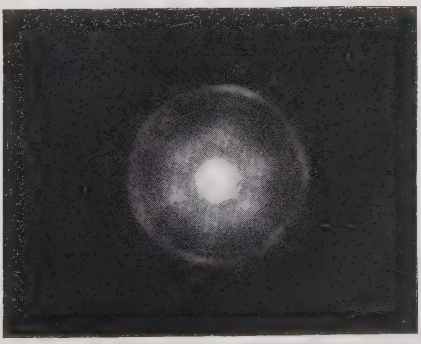
Al Fig. 15 (a) 1,0



Al Fig. 16 (a, c) 1,0

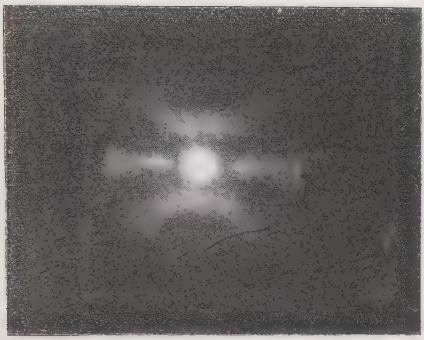


Al Fig. 17 (a, a) 1,0

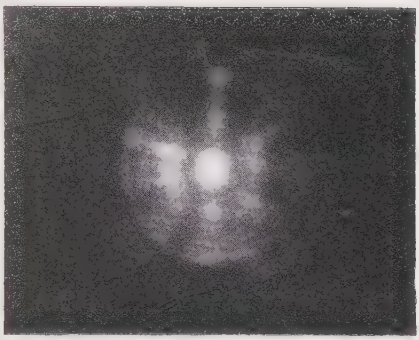


Al Fig. 18 (a, c, b) 1,0

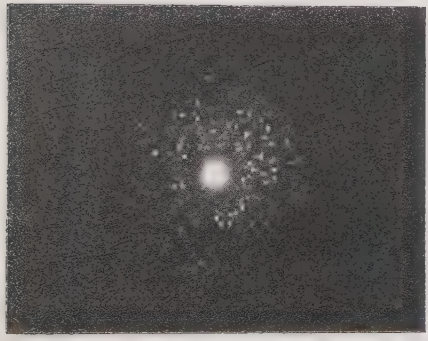
Tafel IX



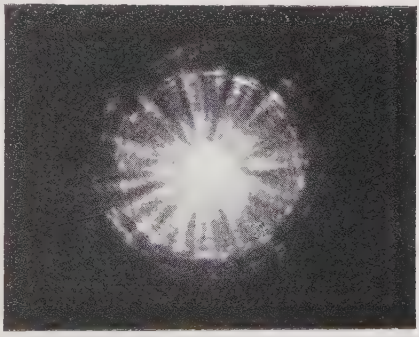
Al Fig. 19 (a) 0,3*



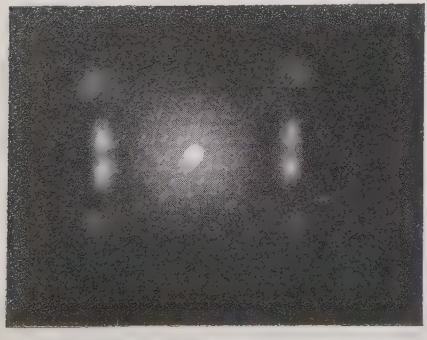
Al Fig. 20 (a, b) 0,3*



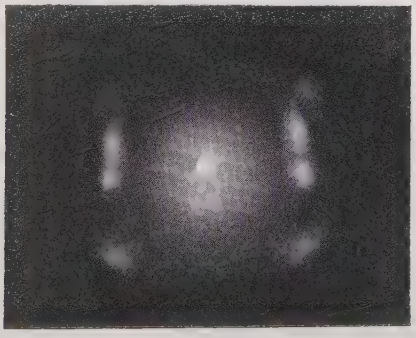
Ai Fig. 21 (a, c) 0,3*



Al Fig. 22 (a, c, b) 0,3*



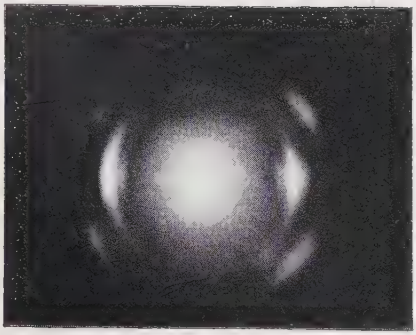
Cu Fig. 23 (a) 0,05



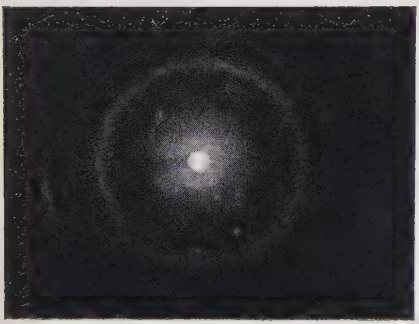
Cu Fig. 24 (a) 0,05

Tafel X

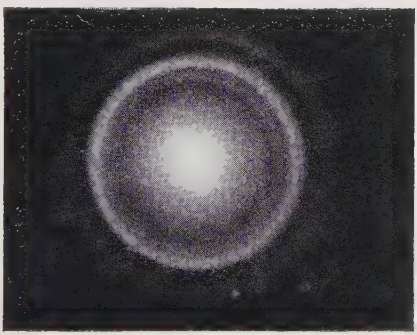
Cu Fig. 25 (a) 0,05



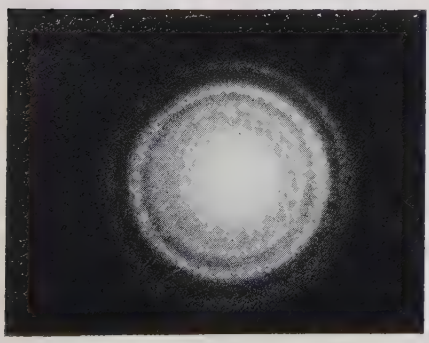
Cu Fig. 26 (a, b) 0,05



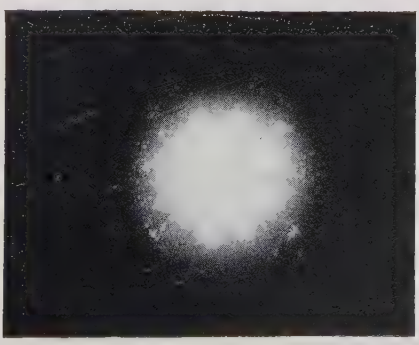
Cu Fig. 27 (a) 0,22



Cu Fig. 28 (a, b) 0,22

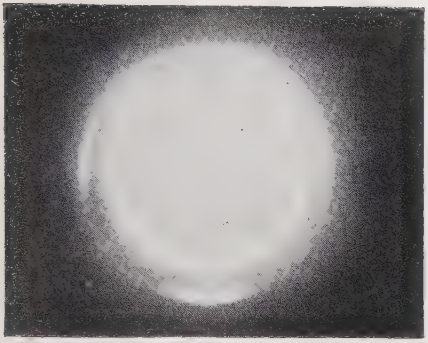


Cu Fig. 29 (a, c) 0,22

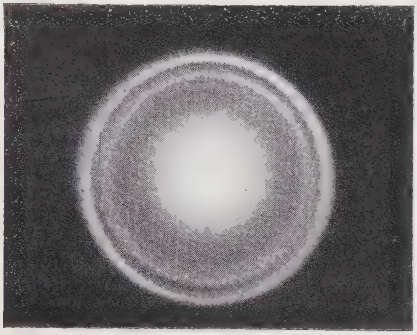


Cu Fig. 30 (a, c) 0,05

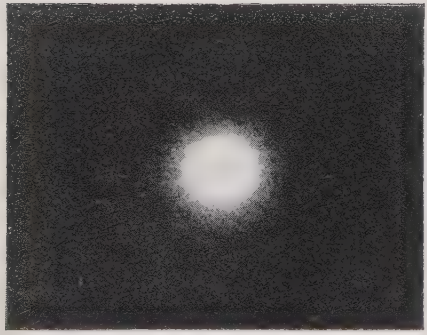
Tafel XI



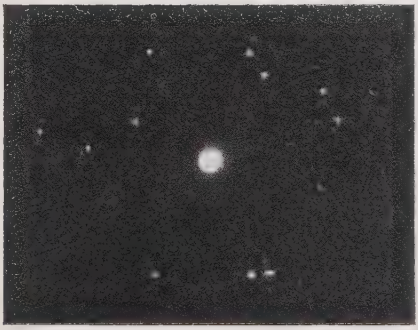
Cu Fig. 31 (a, c, b) 0,05



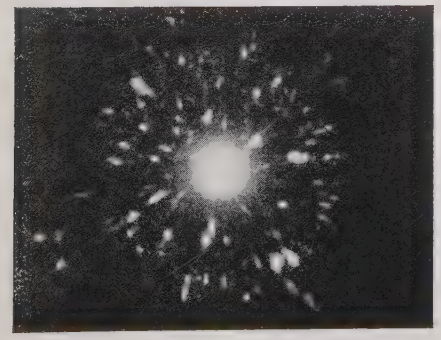
A_5 Fig. 32 (a) 0,25



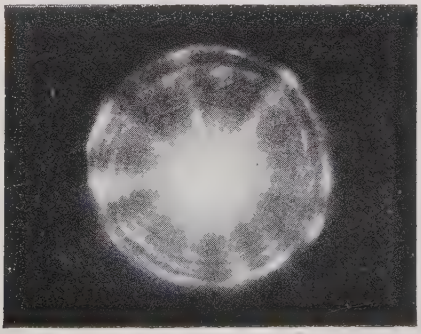
A_5 Fig. 33 (a, c) 0,35



A_5 Fig. 34 (a) 0,3°

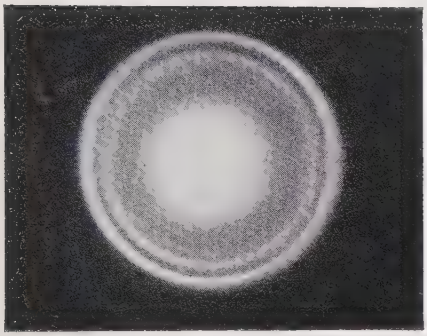


A_5 Fig. 35 (a, c) 0,3°

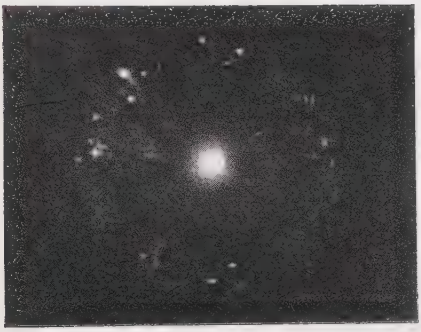


A_5 Fig. 36 (a, c, b) 0,32°

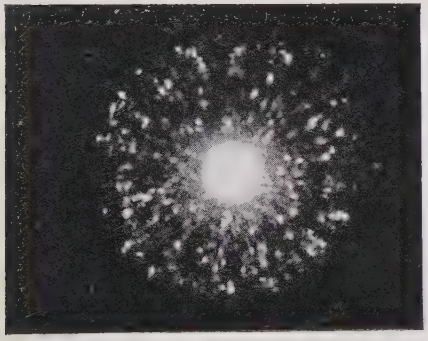
Tafel XII



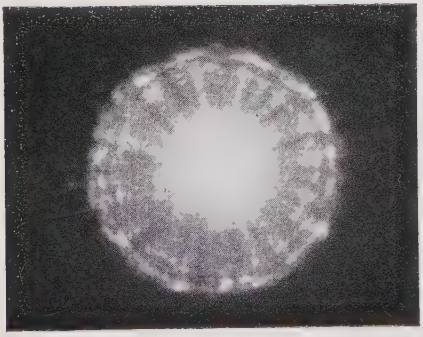
CM Fig. 37 (a) 0,25



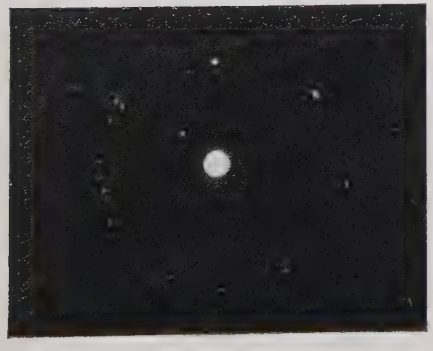
Az Fig. 38 (a) 0,3°



A_2 Fig. 39 (a, c) 0,3°



Az Fig. 40 (a, c, b) 0,32



CM Fig. 41 (a, c) 0,25

CM Fig. 42 (a, c) 0,25

Tabelle I.

Fig. Nr.	Material	Dicke mm	Art der Vorbearbeitung	Bemerkung
1	Al	0,3*	Stangenguß	Probe durch Aussägen gewonnen
5	Al	0,1	gewalzt	Hartblech
9	Al	0,5	„	Weichblech
15	Al	1	„	Hartblech
19	Al	0,3*	„	aus 1 mm Hartblech gedreht
23	Cu	0,05	„	Schablonenblech
27	Cu	0,22	Elektrolytische Haut	selbst hergestellt
32	A_5	0,25	gewalzt	von Griesheim-Elektron
34	A_5	0,3	gegossen	aus 2,25 mm Gußscheibe gedreht
37	CM	0,25	gewalzt	von Griesheim-Elektron
38	Az	0,3	gegossen	aus 2,25 mm Gußscheibe gedreht

Tabelle II.

Fig. Nr.	Material	Dicke mm	Art der Vorbearbeitung	Bearbeitung
2	Al	0,3*	gegossen	rotgeglüht
6	Al	0,1	gewalzt	„
10	Al	0,5	„	„
14	Al	0,5	„	40 Std. 300°
16	Al	1	„	rotgeglüht
21	Al	0,3*	aus 1 mm Blech gedreht	„
29	Cu	0,22	Elektrolytische Haut	„
30	Cu	0,05	gewalzt	„
33	A_5	0,25	„	18 Std. 100—200° sehr schwach
35	A_5	0,3°	gegossen	rotgeglüht
39	A_Z	0,3°	„	„
41	CM	0,25	gewalzt	„

Tabelle III.

Fig. Nr.	Material	Dicke mm	Art der Vorbearbeitung	Hämmergrad in %
3	Al	0,3*	gegossen	30
7	Al	0,1	gewalzt	20
11	Al	0,5	„	30
12	Al	0,5	„	50
17	Al	1	„	75
20	Al	0,3*	„	16,7
26	Cu	0,05	„	20
28	Cu	0,22	Elektrolytische Haut	50

Tabelle IV.

Fig. Nr.	Material	Dicke mm	Art der Vorbearbeitung	Hämmergrad in %
4	Al	0,3*	gegossen, geglüht	30
8	Al	0,1	gewalzt, geglüht	20
13	Al	0,5	„ „	30
18	Al	1	„ „	75
22	Al	0,3*	„ „	25
31	Cu	0,05	„ „	20
36	A_5	0,32	gegossen, geglüht	8
40	Az	0,32	„ „	8
42	CM	0,25	gewalzt, geglüht	8

Lebenslauf.

Geboren bin ich, Werner Eggers, zu Oschersleben a. d. Bode am 20. Januar 1903 als Sohn des Eisenbahn-Lademeisters Gustav Eggers und seiner Ehefrau Emma geb. Gems. Ich bin evangelisch und preußischer Staatsangehörigkeit. Meinen ersten Unterricht erhielt ich in der Knaben-Mittelschule zu Oschersleben in den Jahren 1909—13. Ostern 1913 siedelte ich nach der dortigen Realschule über, die ich Ostern 1919 mit der Reife für Obersekunda verließ, um meine weitere Schulbildung in den Franckeschen Stiftungen zu Halle a. S. zu nehmen. Ostern 1922 bestand ich an der Francke-Oberrealschule die Reifeprüfung und wurde an der hiesigen Universität immatrikuliert. Ich studierte Physik, Mathematik, Chemie und Philosophie. Seit dem Sommer-Semester 1926 bin ich als Volontär-Assistent am Laboratorium für angewandte Physik tätig.

Meine Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten: Doetsch, Eberhard, Gutzmer, Hasse, Herweg, Jung, Mie, K. Schmidt, Vorländer, Weitz, Wigand, Ziehen. Ihnen allen bin ich zu stetem Dank verpflichtet.